



TUGAS AKHIR - SF 091321

**PELAPISAN GRAFIT DENGAN TITANIUM
KARBIDA MELALUI METODE PIRAC;
KARAKTERISASI XRD DAN SEM**

Farah Aulia R.
NRP 1110 100 026

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Suasmoro, DEA

Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT - SF 091321

**THE COATING OF GRAPHITE WITH
TITANIUM CARBIDE VIA PIRAC METHOD;
XRD AND SEM CHARACTERIZATION**

Farah Aulia R.
NRP 1110 100 026

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Suasmoro, DEA

Department of Physics
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2014

**PELAPISAN GRAFIT DENGAN TITANIUM
KARBIDA MELALUI METODE PIRAC;
KARAKTERISASI XRD DAN SEM**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
FARAH AULIA R.
NRP 1110100026

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Dr. Suasmoro, DEA
NIP. 19550210 198010.1.001


(.....)



Surabaya, Juli 2014

PELAPISAN GRAFIT DENGAN TITANIUM KARBIDA MELALUI METODE PIRAC; KARAKTERISASI XRD DAN SEM

Nama : Farah Aulia R.
NRP : 1110100026
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Prof. Dr. Suasmoro, DEA

Abstrak

Telah dilakukan eksperimen untuk membentuk lapisan tipis TiC dengan menggunakan metode PIRAC (Powder Immersion Reaction Assisted Coating) melalui proses difusional. Pada metode ini, substrat grafit dibenamkan dalam serbuk titanium. Selanjutnya, eksperimental awal dilakukan tanpa adanya penambahan yodium dalam serbuk titanium dengan perlakuan panas 1000oC dalam tube-furnace selama 24 jam. Kemudian eksperimen selanjutnya dilakukan penambahan yodium sebanyak 4% ke dalam serbuk titanium dengan perlakuan panas 1000oC dalam tube-furnace variasi waktu tahan 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan Difraktometer Sinar-X (XRD) dan Scanning Electron Microscopy (SEM). Analisis data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Match! dan Rietica. Berdasarkan hasil karakterisasi XRD untuk eksperimental awal diperoleh bahwa lapisan titanium karbida masih belum terbentuk. Untuk eksperimental lanjutan diperoleh bahwa pada variasi waktu tahan 2 jam diperoleh lapisan titanium karbida yang masih sangat tipis, sedangkan untuk variasi waktu tahan lain sudah terbentuk lapisan titanium karbida. Selanjutnya, berdasarkan hasil SEM di dapat ukuran ketebalan masing-masing lapisan sehingga dapat diperoleh hubungan waktu tahan dan ketebalan lapisan TiC yang terbentuk memenuhi $x=(kt)^{1/2}$.

Kata kunci : ketebalan lapisan, proses difusional, waktu tahan.

THE COATING OF GRAPHITE WITH TITANIUM CARBIDE VIA PIRAC METHOD; XRD AND SEM CHARACTERIZATION

Name : Farah Aulia R.
NRP : 1110100026
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Prof. Dr. Suasgoro, DEA

Abstract

Experiments have been done to form a thin layer of TiC using PIRAC (Powder Immersion Reaction Assisted Coating) through diffusional processes. In this method, the substrate graphite is immersed in a titanium powder. Furthermore, the first experimental performed without the addition of iodine in the heat treatment of titanium powder in a tube-furnace 1000°C for 24 hours. Then the next experiment, the addition of iodine as much as 4% in a titanium powder with 1000°C heat treatment tube-furnace with variation holding time 2 hours, 4 hours, 6 hours, 8 hours and 10 hours. Characterization is done by using X-ray diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). XRD analysis performed using software Graphics and Indentify and Rietica. Based on the experimental results of XRD characterization show that the initial layer of titanium carbide is not yet formed. For further experimentally obtained that the variations of the holding time 2 hours obtained titanium carbide layer is still very thin, while others hold for the time variation of the titanium carbide layer is formed. Furthermore, based on the results of SEM to measure the thickness of each layer in order to obtain relationships hold time and the thickness of the TiC layer formed satisfy $x = (kt)^{1/2}$.

Keywords: *layer thickness, the diffusional process, the holding time.*

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah robbil'alamin, kami ucapkan kepada Allah SWT karena atas berkah, rahmat, dan petunjukNya yang diberikan kepada kami sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir (TA) ini dengan sebaik-baiknya. Sholawat dan salam senantiasa kami sampaikan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah menjadi teladan dan menuntun kami dari zaman kebodohan menuju kebenaran.

Atas izin Allah SWT, kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir (TA) ini dengan judul **“Pelapisan Grafit dengan Titanium Karbida melalui Metode PIRAC; Karakterisasi XRD dan SEM”**, sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu jurusan Fisika ITS.

Pembuatan laporan ini juga melibatkan berbagai pihak yang senantiasa membantu secara ilmu, moral dan materi. Keikhlasan dalam membantu kami menyelesaikan laporan ini, semoga mendapatkan balasan yang baik dari Allah SWT. Dengan penuh suka cita, kami sampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga yang telah memberi dukungan semangat, moral maupun materi.
2. Prof. Dr. Suasmoro, DEA selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
3. Dr. Triwikantoro, M.Si selaku dosen wali atas bimbingannya selama 4 tahun penulis belajar di Jurusan Fisika ITS.
4. Tim riset di laboratorium keramik, dari S1 hingga S3 yang banyak memberi masukan dan diskusi dalam melaksanakan penelitian.

5. Teman-teman COSMIC FISIKA 2010 dan berbagai pihak yang telah terlibat dan mendukung penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.

Dalam penyusunan laporan ini kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan. Diluar kekurangan tersebut, semoga laporan ini dapat menjadi referensi masyarakat luas.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

Farah Aulia R.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
<i>Cover Page</i>	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
<i>Abstract</i>	vii
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xv
Daftar Lampiran	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Tahan Panas (Refraktori)	3
2.2 Reaksi Difusional	6
2.3 <i>X-ray Diffractometer</i> (XRD)	11
2.4 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	14

BAB III METODOLOGI

3.1 Bahan dan Peralatan	17
3.2 Prosedur Eksperimental	17
3.2.1 Pembuatan Sampel	17
3.2.1 Tahapan Eksperimental	18
3.3 Metode Karakterisasi	23

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Metode PIRAC tanpa Penambahan	
--	--

Yodium.....	25
4.2 Analisis Fase Lapisan Titanium Karbida	27
4.3 Analisis Ketebalan Lapisan Titanium Karbida.....	35
BAB V KESIMPULAN.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
BIOGRAFI PENULIS.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Temperatur Leleh Bahan Refraktori	3
Gambar 2.2 Struktur TiC Kubik <i>Close Packed</i>	4
Gambar 2.3 Skema dari lapisan non oksida keramik oleh reaksi serbuk metal	7
Gambar 2.4 Skema Pembentukan Lapisan PIRAC.....	8
Gambar 2.5 Skema Model Pertumbuhan Lapisan pada Permukaan Grafit	9
Gambar 2.6 Spektrum Sinar-X dari Molybdenum.....	12
Gambar 2.7 Zona Interaksi dari Elektron dan Atom Sampel di bawah Permukaan Sampel	15
Gambar 3.1 Sampel Grafit dan Reaktor.....	18
Gambar 3.2 <i>Gloves Box</i>	18
Gambar 3.3 Sketsa Posisi Sampel Grafit dalam <i>Crucible</i>	19
Gambar 3.4 Diagram Perlakuan Panas	21
Gambar 3.5 Diagram Alir Tahap Eksperimental Awal	21
Gambar 3.6 Diagram Alir Tahap Eksperimental Lanjutan.....	22
Gambar 3.7 Permukaan yang akan dikarakterisasi SEM.....	24
Gambar 4.1 Sketsa Susunan Sampel dalam <i>Crucible</i> Setelah Perlakuan Panas	25
Gambar 4.2 Pola Difraksi Sinar X dan Hasil Identifikasi Fase untuk Grafit dan Sampel dalam Atmosfer Nitrogen.....	28
Gambar 4.3 Pola Difraksi Sinar X dan Hasil Identifikasi Fase untuk Grafit dan Sampel dalam Atmosfer Argon.....	29
Gambar 4.4 Hasil SEM-EDX Sampel dengan Waktu Tahan Selama 4 Jam dalam Atmosfer Nitrogen.....	31
Gambar 4.5 Hasil SEM-EDX Sampel dengan Waktu Tahan Selama 4 Jam dalam Atmosfer Argon.....	31
Gambar 4.6 Hasil Identifikasi Serbuk Titanium dengan Waktu Tahan 4 Jam dalam Atmosfer Nitrogen	32
Gambar 4.7 Hasil SEM Permukaan Sampel yang Diproses dalam Atmosfer Argon Selama 4 Jam.....	33
Gambar 4.8 Hasil SEM Permukaan Sampel yang Diproses	

	dalam Atmosfer Argon Selama 4 Jam	34
Gambar 4.9	Hasil Karakterisasi SEM untuk sampel yang Diproses dalam Atmofer Nitrogen dengan Waktu Tahan Selama: (a) 4 Jam; (b) 8 Jam.....	35
Gambar 4.10	Hasil Karakterisasi SEM untuk sampel yang Diproses dalam Atmofer Argon dengan Waktu Tahan Selama: (a) 2 Jam; (b) 4 Jam; (c) 6 Jam; (d) 8 Jam dan 10 Jam	36
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Waktu Tahan terhadap Ketebalan Lapisan Titanium Karbida	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteritik dan Sifat Titanium Karbida5

Tabel 4.1 Parameter Kisi TiC Setelah Perlakuan Panas dalam Atmosfer Nitrogen dan Argon.....34

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Data COD (<i>Crystallography Open Database</i>)	
Sampel	43
Lampiran B Hasil Pencocokan Pola Difraksi Sinar X dengan	
<i>Software Rietica</i>	45

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material refraktori banyak dimanfaatkan dalam bidang industri, untuk reaktor nuklir dan *nozzle rocket*. Semula pada *nozzle rocket* digunakan material grafit yang dimanfaatkan pada pemakaian temperatur tinggi. Akan tetapi pada kenyataannya, material grafit sangat mudah mengalami oksidasi pada temperatur tinggi ($>400^{\circ}\text{C}$) dalam lingkungan yang mengandung oksigen maupun chlor (Becker *et al*, 2010), dan sangat mudah tererosi (kekerasannya 1-2 skala mho) pada saat terkena semburan dari partikel-partikel hasil pembakaran propelan padat. Oleh karena itu untuk mereduksi aspek erosi pada grafit dapat dilakukan proses pelapisan dengan menggunakan material refraktori yang mempunyai ketahanan panas hingga 3000°C dan ketahanan terhadap goresan (*scratch resistance*). Dalam hal ini material yang paling memungkinkan adalah dari jenis karbida. Titanium karbida merupakan material yang cocok sebagai pelapis grafit dikarenakan ketersediaan serbuk metal titanium dan proses sintesisnya. Titanium karbida (TiC) mempunyai titik leleh $>3000^{\circ}\text{C}$ dan mempunyai kekerasan 9 dalam skala mho (Pierson, 1996).

Berdasarkan literatur diperoleh bahwa proses pelapisan dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya *sputtering*, CVD (*Chemical Vapor Deposition*), PVD (*Physical Vapor Deposition*), *spray coating* dan PIRAC. Akan tetapi, metode PIRAC mempunyai keunggulan karena proses pelapisan melalui reaksi kimia, dalam hal ini lapisan TiC diperoleh melalui mekanisme difusi antara titanium dan karbon sehingga mempunyai ikatan yang kuat (Yin *et al*, 2005). Pada penelitian ini akan dilakukan metode PIRAC untuk memperoleh lapisan TiC dengan beberapa variasi perlakuan antara lain dengan atau tanpa adanya penambahan yodium, atmosfer yang digunakan dan lama waktu tahan. Selanjutnya, dapat dilakukan analisis pengaruh beberapa variasi ini terhadap proses difusi antara serbuk titanium

dan grafit. Selain itu, dengan karakterisasi SEM dapat dilakukan analisis ketebalan lapisan TiC yang terbentuk pada permukaan grafit.

1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimanakah proses pelapisan titanium karbida pada permukaan grafit melalui metode PIRAC.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah bahan dasar grafit dilapisi titanium karbida dengan serbuk titanium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses pelapisan titanium karbida pada permukaan grafit melalui metode PIRAC.

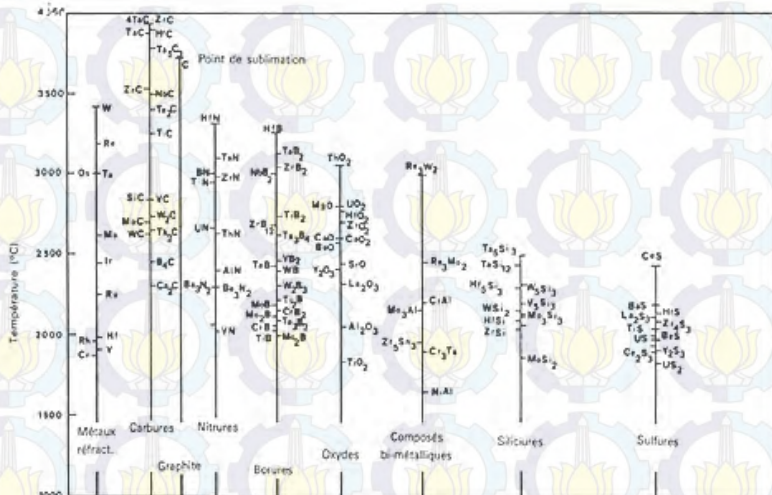
1.5 Manfaat penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang material refraktori titanium karbida yang dapat dimanfaatkan dalam pemakaian temperatur tinggi dan memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Selain itu, penelitian ini juga memberikan informasi variabel pelapisan titanium karbida pada permukaan grafit melalui metode PIRAC.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Tahan Panas (Refraktori)

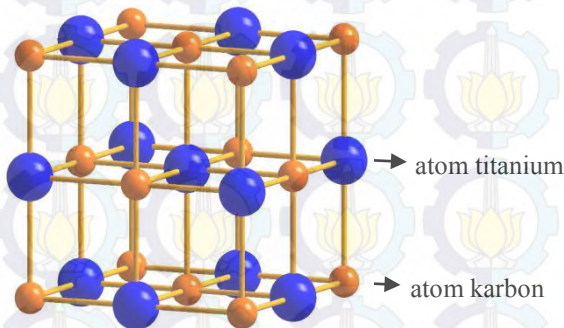
Bahan tahan panas (refraktori) merupakan material yang memiliki titik lebur tinggi, sekitar $>1800^{\circ}\text{C}$ dan memiliki stabilitas kimia yang tinggi (Pierson, 1996). Material ini merupakan salah satu jenis keramik yang memiliki kemampuan untuk mempertahankan kondisinya baik secara fisik maupun kimia pada kondisi temperatur yang relatif tinggi tanpa mengalami deformasi (Nugroho & Umardhani, 2011). Secara umum berdasarkan komposisi kimianya, bahan tahan panas (refraktori) terdiri dari 3 yaitu pertama refraktori netral asam, yang termasuk dalam senyawa ini antara lain silika dan alumina. Kedua refraktori netral, contoh umum dari material ini antara lain Cr_2O_3 dan karbon. Ketiga refraktori basa, contoh dari material ini adalah MgO (<http://en.wikipedia.org/wiki/Refractory>).



Gambar 2.1 Temperatur Leleh Bahan Refraktori (Sumber: Aliprandi, 1979).

Contoh material yang termasuk ke dalam bahan tahan panas (refraktori) dapat dilihat pada Gambar 2.1. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa titik leleh tertinggi dimiliki oleh material dari golongan karbon. Pada eksperimen ini akan dipelajari lebih jauh mengenai TiC.

Titanium karbida merupakan jenis karbida interstitial. Struktur interstitial merupakan ion atau atom dari elemen non metal misalnya karbon untuk menempati celah interstitial dalam kisi logam. Batas maksimum rasio jari-jari antara atom karbon dan metal sebesar 0,59. Titanium memiliki struktur BCC (*Body Centre Cubic*) pada temperatur yang sangat tinggi ($>880^{\circ}\text{C}$) dengan parameter kisi: $a_0 = 0,3307 \text{ nm}$ (Pierson, 1996). Berdasarkan struktur tersebut, titanium memiliki situs oktahedral yang menyediakan celah untuk atom karbon sehingga terbentuk karbida interstitial yaitu titanium karbida. Titanium karbida mempunyai struktur kubik *close packed*, seperti ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur TiC, Kubik *Close Packed* (Sumber: Chen *et al*, 2012).

Ikatan atom dalam pembentukan karbida dikombinasikan 3 tipe ikatan yaitu ionik, kovalen dan metal. Titanium karbida merupakan karbida dari golongan IV yang memiliki titik leleh lebih tinggi dibandingkan host-metalnya (titanium). Dianggap

bahwa kekuatan ikatan atom ini sebagai ukuran titik leleh. Dalam grup IV, antar atom metal memiliki ikatan yang lemah, sedangkan ikatan antar atom karbon dan metal memiliki ikatan yang kuat. Oleh karena itu, titanium karbida yang memiliki struktur kubik *close packed* akan memiliki ikatan metal-karbon yang kuat sehingga memiliki titik leleh yang tinggi. Tabel 2.1 berikut merupakan karakteristik dan sifat titanium karbida.

Tabel 2.1 Karakteristik dan Sifat Titanium Karbida

Struktur	: Kubik <i>close packed</i>
Parameter kisi	: 0,4328 nm
<i>Space group</i>	: <i>Fm3m</i>
Berat molekul	: 59,91 g/mol
Titik Leleh	: 3067°C
Konduktivitas termal	: 2 W/m°C
Vickers hardness	: 28-35 GPa
Modulus elastisitas	: 410-510 GPa
Warna	: Abu-abu silver

(Sumber: Pierson, 1996)

Selain itu, karakteristik titanium karbida adalah sifat tahan korosi, sifat kimia dan ketahanan fisik yang baik dalam lingkungan yang berat, sehingga TiC ini banyak dimanfaatkan antara lain sebagai bahan pelapis reaktor nuklir, teknologi roket ataupun dalam bidang industri sebagai alat pemotong (Pierson, 1996).

Serbuk titanium karbida diperoleh dari reaksi antara TiO_2 dengan karbon pada temperatur 2000°C atau lebih dalam atmosfer hidrogen (Pierson, 1996). Sedangkan pelapisan TiC diperoleh dari proses CVD (*Chemical Vapor Deposition*), PVD (*Physical Vapor Deposition*), proses *sputtering*, *evaporation*, *ion plating* dan juga PIRAC (*Powder Immersion Reaction Assisted Coating*) (Yin *et al.*, 2005).

2.2 Reaksi Difusional

Banyak reaksi dan proses penting dalam perlakuan material megandakan transfer massa dari gas, cair atau fase padat lain. Hal ini dapat terjadi dengan proses difusi, yaitu fenomena transport material oleh pergerakan atomik. Dalam pandangan atomik, difusi merupakan tahapan perpindahan tempat atom dari suatu kisi ke kisi yang lain (Callister, 2001). Difusi dalam material merupakan hasil dari gradien konsentrasi dalam hukum I Fick (dalam 1 dimensi), yang dapat dinyatakan:

$$\hat{J}_i = -\hat{D}_i \frac{\partial C_i}{\partial x} \quad \text{..... (2.1)}$$

Dimana: \hat{J}_i = perubahan interdifusi ($\text{mol/m}^2\text{s}$), C_i = konsentrasi atom (mol/m^3) dan \hat{D}_i = koefisien interdifusi (m^2/s).

Adapun faktor yang mempengaruhi terjadinya difusi, dijelaskan oleh Callister 2001 sebagai berikut.

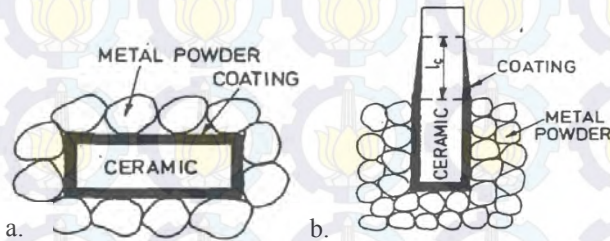
1. Jenis difusi, besarnya koefisien difusi menunjukkan laju dari atom yang berdifusi. Jenis difusi dari host material dipengaruhi koefisien difusi.
2. Temperatur berpengaruh terhadap koefisien dan laju difusi. Secara matematis, dapat dituliskan:

$$D = D_o \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana: D = koefisien difusi (m^2/s); D_o = koefisien difusi tidak bergantung temperatur (m^2/s); Q_d = energi aktivasi untuk difusi (J/mol ; cal/mol atau eV/atom), energi aktivasi merupakan energi yang diperlukan 1 atom untuk berdifusi; R = konstanta gas ($8,31 \text{ J/mol.K}$; $1,987 \text{ cal/mol.K}$ atau $8,62 \times 10^{-5} \text{ eV/atom.K}$); T = Temperatur absolut (K).

Salah satu metode yang menggunakan prinsip difusional adalah metode PIRAC (*Powder Immersion Reaction Assisted Coating*). Seperti yang dilakukan Gutmanas *et al* dalam eksperimennya, dijelaskan dalam skema Gambar 2.3. Dalam

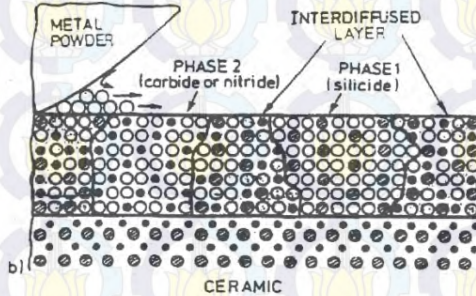
eksperimennya, Si_3N_4 , SiC dan grafit dibenamkan dalam serbuk logam dengan afinitas yang tinggi untuk nitrogen atau karbon seperti Cr, V dan Ti bereaksi dengan metal tersebut pada temperatur 1123-1573 K ke bentuk silika oksida, nitrida atau karbida. Skema PIRAC tersebut tanpa ada tambahan bahan *volatile* (mudah menguap) yang digunakan untuk transport metal menuju substrat.



Gambar 2.3 Skema dari lapisan non oksida keramik oleh reaksi serbuk metal. (a) sampel keramik dibenamkan ke dalam serbuk metal; (b) sampel keramik dibenamkan secara parsial (Sumber: Gutmanas *et al*, 1992).

Proses PIRAC tersebut dideskripsikan seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Pertama, metal ditransfer dari serbuk ke atas permukaan keramik. Proses transport utama oleh difusi atom metal sepanjang permukaan keramik akan tetapi juga melalui fase uap dari metal. Ketika atom metal mencapai substrat, terjadi interdifusi dan pencampuran antar atom metal dan keramik. Sampel keramik seluruhnya dibenamkan ke dalam jarak difusi permukaan serbuk metal kira-kira $5\mu\text{m}$ untuk partikel serbuk dengan ukuran lebih dari $10\mu\text{m}$. Selanjutnya, ketika lapisan interdifusi metal-substrat keramik cukup tebal, pengintian dari fase baru (nitrida atau karbida) terjadi. Fase baru ini terlihat seperti lapisan tipis yang menyambung bagian dari inti diskrit yang terdistribusi sepanjang permukaan keramik. Kemudian, pertumbuhan lapisan ditentukan oleh difusi metal ke arah

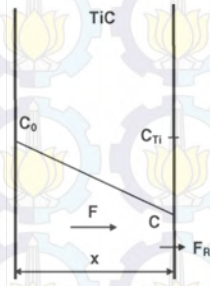
permukaan lapisan keramik dan nitrogen atau karbon ke arah permukaan lapisan.



Gambar 2.4 Skema Pembentukan Lapisan PIRAC (Sumber: Gutmanas *et al*, 1992).

Metode PIRAC selanjutnya dilakukan oleh Yin *et al* 2005 dengan proses substrat grafit dibenamkan ke dalam campuran titanium dan yodium dalam wadah tertutup *stainless steel high-chromium*. Pada proses ini, tekanan yang digunakan sangat rendah tidak melebihi 10^{-5} Pa (10^{-7} Torr) dan dilakukan pada temperatur $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$ dalam furnace. Kristal yodium ditambahkan ke dalam serbuk titanium dengan tujuan untuk mempercepat pemindahan atom titanium ke dalam substrat grafit sehingga terbentuk lapisan titanium karbida. Hal ini dikarenakan adanya yodium, atom titanium mencapai permukaan lapisan dalam bentuk gas titanium-yodium sebagai transport reaksi. Sebelum dibenamkan dalam campuran serbuk titanium-yodium, grafit terlebih dahulu lapsi Y_2O_3 sebagai penanda reaksi. Dan berdasarkan eksperimen, penanda Y_2O_3 berada pada permukaan grafit di bawah permukaan lapisan. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan lapisan PIRAC ditentukan oleh difusi karbon.

Difusi atom karbon dalam permukaan lapisan, F , menurut hukum pertama Fick dapat dituliskan dan digambarkan dalam skema berikut ini.



Gambar 2.5 Skema Model Pertumbuhan Lapisan pada Permukaan Grafit (Sumber: Yin *et al*, 2005).

Persamaan difusi menurut hukum pertama Fick dapat dituliskan,

$$F = -D \frac{dC}{dx} \approx D \frac{C_0 - C}{x} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana x adalah ketebalan lapisan titanium karbida, D merupakan koefisien difusi dari karbon dalam lapisan, C_0 merupakan konsentrasi karbon pada substrat dan C merupakan konsentrasi karbon pada permukaan lapisan.

Reaksi antara karbon dan titanium dalam pembentukan titanium karbida terjadi pada permukaan lapisan. Laju reaksi bergantung pada konsentrasi karbon dan titanium pada permukaan dinyatakan:

$$F_R = k_R C C_{Ti} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan k_R merupakan konstanta reaksi permukaan, C dan C_{Ti} berturut-turut merupakan konsentrasi dari karbon dan titanium pada lapisan permukaan. Diasumsikan transport dari atom titanium terjadi melalui fase gas dimana adsorpsi dan difusi permukaannya terjadi sangat cepat dan prosesnya tidak ikut terkontrol sehingga $C_{Ti} \cong C_{Ti}^0 = \text{konstan}$. Tentu saja, hal ini

terjadi karena adanya penambahan yodium dalam campuran titanium-yodium. Sehingga diperoleh difusi dari atom karbon dalam reaksi:

$$F = F_R \quad \text{.....} \quad (2.5)$$

Kemudian substitusi persamaan 2.3 dan 2.4 kedalam persamaan 2.5 didapat:

$$C = \frac{C_0}{1 + \frac{k_R C_{Ti} x}{D}} \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

Dengan catatan, konsentrasi karbon dalam lapisan menurun seiring naiknya ketebalan lapisan.

Laju perubahan terhadap waktu dari ketebalan lapisan titanium karbida ini dapat diturunkan:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F}{N} = \frac{k_R C_0 C_{Ti}^0}{N(1 + \frac{x k_R C_{Ti}^0}{D})} \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

Dimana N merupakan banyaknya atom karbon yang diperlukan dalam satu unit volume TiC.

Dengan mengintegrasikan persamaan di atas, didapat fungsi ketebalan lapisan terhadap waktu dinyatakan:

$$\frac{x^2}{B} + \frac{x}{A} = t + n \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

Dimana n merupakan konstanta, B merupakan konstanta laju parabolik dan A merupakan konstanta laju linear yang berturut-turut dapat dituliskan:

$$B = \frac{2DC_0}{N} ; A = \frac{k_R C_0 C_{Ti}^0}{N} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

Persamaan 2.8 mengindikasikan bahwa ketebalan lapisan sebagai fungsi waktu mengikuti prinsip linear-pakabolik. Sehingga solusi ketebalan lapisan dalam persamaan 2.8 dapat dinyatakan:

$$x = \frac{B}{2A(1 + (t + n)/(B/4A^2))^{1/2} - 1} \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

Untuk proses perlakuan yang sangat singkat ($t + n \ll B/4A^2$), hasil x menurut persamaan 2.10 sangat kecil. Sedangkan, untuk proses perlakuan panas yang sangat lama ($t \gg n$ dan $t \gg B/4A^2$), pertumbuhan lapisan mendekati fungsi parabolik yang dapat dinyatakan:

$$x \approx (Bt)^{1/2} \quad \text{.....} \quad (2.11)$$

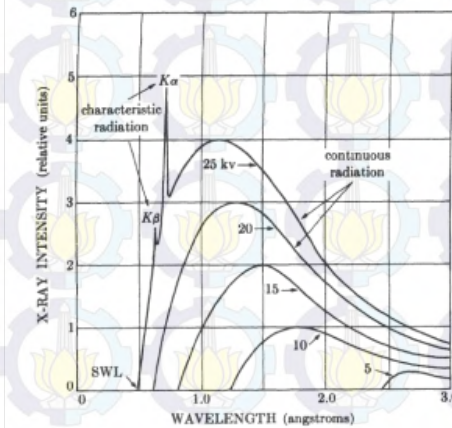
dengan B merupakan konstanta laju difusi.

2.3 X-ray Diffractometer (XRD)

XRD merupakan salah satu alat uji yang digunakan mengetahui fasa yang terbentuk dalam suatu material padat. Selain itu biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai struktur, komposisi dan keadaan kristal material. Sampel yang disiapkan berbentuk serbuk, padat atau film (Sibilia, 1996). Alat ini bekerja menggunakan prinsip difraksi yang memiliki panjang gelombang lebih besar atau sama dengan ukuran kisi atau celah. Hasil difraksi tersebut akan menghasilkan pola tertentu sesuai dengan hukum yang dikeluarkan oleh Lawrence dan Henry Bragg pada tahun 1915.

X-ray adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam orde Å. Ada dua jenis X-ray yang digunakan yaitu sinar karakteristik dan sinar kontinyu, seperti terlihat pada Gambar 2.6. Jika sebuah elektron menumbuk atom maka elektron tersebut akan mengalami perlambatan akibat interaksi dengan elektron lain yang berada di kulit atom. Perlambatan ini menimbulkan pancaran sinar dengan intensitas tidak terlalu tinggi yang dikenal sebagai sinar kontinyu. Namun, ketika elektron tadi

memiliki energi yang tinggi maka akan menumbuk elektron lain di kulit K dan memancarkan sinar dengan intensitas tinggi yang dikenal sebagai sinar karakteristik. Sinar karakteristik biasa digunakan oleh peneliti, sedangkan sinar kontinyu digunakan dalam bidang kedokteran.



Gambar 2.6 Spektrum Sinar-X dari Molybdenum (Sumber: Cullity, 1956).

Sinar karakteristik salah satunya digunakan dalam penelitian mengenai material karena sinar ini memiliki panjang gelombang 1,54 Å yang mana nilai ini setara dengan kisi kristal suatu material. Jika sinar karakteristik dikenakan pada kristal maka memenuhi hukum Bragg (persamaan 2.12), dan karena setiap jenis bahan itu unik maka akan diperoleh pola difraksi yang berbeda-beda antara bahan satu dengan bahan yang lainnya (Cullity, 1956).

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (2.12)$$

dimana: n = orde difraksi, λ = panjang gelombang, d = kisi difraksi dan θ = sudut difraksi.

Pola difraksi ini berupa grafik yang dibentuk oleh intensitas (sumbu-y) dan sudut difraksi 2θ (sumbu-x). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi intensitas difraksi suatu material yakni diantaranya faktor struktur (F), faktor multiplicity (p) dan faktor Lorentz. Hubungan antara intensitas dengan ketiga faktor tadi secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = |F|^2 p \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{\sin^2 \theta \cos \theta} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana : I = intensitas relatif, F = faktor struktur, p = faktor multiplicity dan θ = sudut bragg.

Berdasarkan persamaan 2.12 tersebut, didapat bahwa besar intensitas difraksi sinar X sebanding dengan bidang (hkl) yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$I(hkl) \propto |F(hkl)|^2$$

Dimana faktor struktur, F, bergantung pada posisi atom dalam unit sel, yang dapat dituliskan.

$$F_{hkl} = \sum_{n=1}^N f_n e^{2\pi i(hu_n + kv_n + lw_n)}$$

(Cullity, 1956)

Berdasarkan hasil pola difraksi sinar X, selanjutnya dapat dilakukan analisis untuk mengetahui fasa apa saja yang ada dalam material uji. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan pola difraksi sampel ke database yang berisi pola acuan untuk mengidentifikasi fasa yang ada dengan menggunakan suatu *software* (<http://www.crystalimpact.de/match/Default.htm>).

Selain itu, hasil XRD ini juga dapat dilakukan analisis pencocokan (*refinement*) Rietveld. Analisis Rietveld adalah suatu metode pencocokan antara kurva teoritis dengan kurva eksperimen sampai terdapat kesesuaian antara kedua kurva

secara keseluruhan. Kurva eksperimen (observasi) adalah susunan pola-pola antara sudut difraksi (2θ) dengan intensitasnya yang didapatkan dari alat difraksi sinar-X (XRD). Kurva teoritis (kalkulasi) adalah kurva yang didapatkan dari hasil analisis Rietveld. Kesesuaian ke dua kurva diusahakan dengan metode kuadrat terkecil (*least square*) yang dilakukan secara berulang-ulang (iterasi) sehingga terdapat kecocokan antara ke dua kurva yang berarti terdapat kecocokan antara data yang diamati dengan data kalkulasi. Ada berbagai macam program komputer untuk menganalisis data difraksi tersebut, misalnya dengan *software* Rietica, Fulprof, MAUD dll. Dalam analisis Rietveld ini dilakukan panghalusan (*refinement*) parameter-parameter sebuah model yang disusun berdasarkan interpretasi struktur kristal untuk dicocokkan dengan data terukur sehingga tercapai nilai selisih kuadrat minimal. Model dibuat dari database kristalografi yang dipilih dari data ICSD. Dengan memanfaatkan parameter keluaran *software* tersebut dapat menganalisis komposisi fasa serta perhitungan fraksi berat absolut (Christianto, 2013).

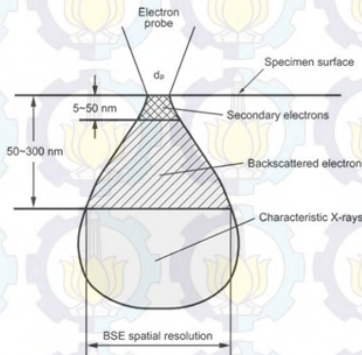
2.4 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning electron microscope merupakan jenis mikroskop elektron yang digunakan untuk memindai gambar permukaan suatu sampel padat dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola pemindai pixel. Mikroskop ini menggunakan hamburan elektron dalam membentuk bayangan elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membentuk sampel menghasilkan sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat lain.

Ketika elektron dengan energi tinggi menumbuk sampel maka akan dihasilkan hamburan elastik dan tak elastik. Hamburan elastik menghasilkan elektron backscattered (BSE) dimana elektron dihamburkan oleh atom sampel dan dibelokkan dalam sudut yang lebar. Hamburan tak elastik menghasilkan elektron sekunder (SE) dimana elektron keluar dari atom sampel

dan dibelokkan dalam sudut yang kecil. Energi SE ini berkisar dalam rentang 3-5 eV. Sinyal utama SE menunjukkan tingkat perbedaan topografi sedangkan BSE menunjukkan perbedaan komposisi elemen (Leng, 2008).

Pada proses tersebut, elektron kehilangan energi dengan hamburan berulang-ulang dan penyerapan acak dalam volume *teardropshaped* dari spesimen yang dikenal sebagai interaksi volume, yang membentang 100 nm sampai 5 μm ke permukaan (Gambar 2.7). Ukuran volume interaksi ini tergantung pada arah energi elektron, nomor atom dan kepadatan spesimen. Pertukaran energi antara berkas sinar dan hasil sampel pada pemantulan elektron berenergi tinggi oleh hamburan elastis, emisi elektron sekunder oleh hamburan tak elastis dan emisi dari radiasi elektromagnetik, yang masing-masing dapat dideteksi oleh detektor khusus (Leng, 2008).



Gambar 2.7 Zona Interaksi dari Elektron dan Atom Sampel di bawah Permukaan Sampel (Sumber: Leng, 2008).

Elektron sekunder hanya dapat keluar dari volume dekat permukaan sampel dengan kedalaman 5-50 nm. Sedangkan *backscattered electron* memiliki energi yang cukup tinggi untuk dapat keluar cukup dalam ke dalam zona interaksi dengan

kedalaman kira-kira 50-300 nm. Topografi gambar diperoleh dari sinyal SE dan BSE. Akan tetapi untuk mengetahui perbedaan topografi hanya digunakan sinyal utama SE. Sedangkan BSE digunakan untuk mengetahui perbedaan komposisi unsur kimia yang terkandung dalam gambar topografi suatu material dengan variasi tingkat abu-abu (Leng, 2008).

Selain itu, setiap perpindahan elektron ini menyebabkan elektron kehilangan sejumlah energi. Energi ini dibebaskan dalam bentuk radiasi elektromagnetik dalam kasus transisi energi tinggi yang melibatkan kulit terdalam. Energi yang diradiasikan secara unik ini mengindikasikan atom darimana radiasi tersebut berasal sehingga disebut sinar X karakteristik (Leng, 2008).

BAB III METODOLOGI

3.1 Bahan dan Peralatan

- **Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah grafit, titanium metalik powder > 98% dan iodine ‘sublimated for analysis’ yang keduanya disuplai dari Merck serta ZO-paint.

- **Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *crucible*, reaktor yang terbuat dari *Stainless steel high chrome S45C*, ‘*gloves box*’ yaitu tempat untuk menyiapkan sampel berupa kotak plastik dan pompa vakum serta proses *heat treatment* dalam *tube-furnace* dengan atmosfer argon 99.999% dan nitrogen 99,95%. Selain itu, peralatan lain yang diperlukan yaitu *ultrasonic cleaner* Branson 1200, spatula dan penjepit. Sedangkan, untuk karakterisasi difraksi sinar X digunakan Bragg-Brentano PanAnalytical X’pert X-Ray dan untuk karakterisasi permukaan sampel menggunakan SEM EVO MA 10 Carl Zeiss Microscopy.

3.2 Prosedur Eksperimental

Prosedur eksperimental yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap, sebagai berikut.

3.2.1 Pembuatan Sampel

Pada tahap ini, grafit dipotong berbentuk balok dengan dimensi $1 \times 1 \times 0,5 \text{ cm}^3$ dan densitas $2,09\text{--}2,23 \text{ g/cm}^3$. Serbuk titanium ditimbang dengan massa sebesar 1,811328 gram dan untuk tahap eksperimental lanjutan, serbuk titanium tersebut ditambahkan yodium sebanyak 4% dari massa serbuk titanium. Tahap persiapan selanjutnya yaitu reaktor yang berupa kapsul *Stainless steel high chrome S45C* berdimensi panjang 2 cm, kedalaman 1,5 cm, diameter dalam 1,3 cm dan diameter luar sebesar 1,5 cm serta tutup tabung memiliki ukuran tinggi 1 cm. ‘*Gloves box*’ berukuran kurang lebih $80 \times 40 \times 45 \text{ cm}^3$ dengan

modifikasi 2 buah lubang di kanan dan kiri sebagai tempat sarung tangan serta 2 lubang kecil untuk aliran gas. Berikut merupakan hasil persiapan sampel dan reaktor serta *gloves box* yang akan digunakan.



Gambar 3.1 Sampel Grafit dan Reaktor.



Gambar 3.2 *Gloves box*

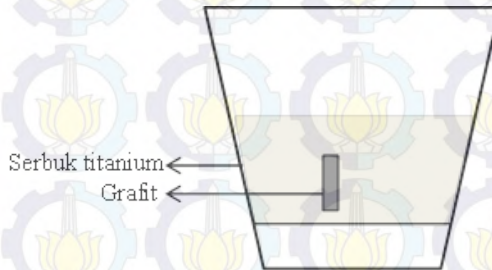
3.2.2 Tahapan Eksperimental

Pada tahap ini dilakukan 2 tahapan eksperimental yaitu:

- Tahapan eksperimental awal

Tahapan eksperimental awal ini dimulai dari membenamkan balok grafit dalam serbuk titanium yang ditempatkan di dalam *crucible* seperti ditampilkan dalam sketsa Gambar 3.3. Selanjutnya, dilakukan perlakuan panas dalam *tube-furnace* dengan temperatur 1000°C selama 24 jam dalam atmosfer argon. Setelah pemanasan selama 24 jam, temperatur dalam *tube-*

furnace diturunkan. Gas argon harus tetap dialirkan sampai temperatur *tube-furnace* kurang dari 400°C. Hal ini dilakukan karena pada temperatur diatas 400°C grafit akan teroksidasi menjadi CO₂ ketika kontak dengan oksigen.



Gambar 3.3 Sketsa Posisi Sampel Grafit dalam *Crucible*.

- Tahapan eksperimental lanjutan

Pada tahapan eksperimental lanjutan ini dilakukan 2 variasi yaitu atmosfer yang digunakan dan lama variasi waktu tahan. Pertama dilakukan eksperimen dengan menggunakan atmosfer gas nitrogen dengan lama waktu tahan 4 jam dan 8 jam. Selanjutnya digunakan atmosfer gas argon dengan variasi waktu tahan 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam.

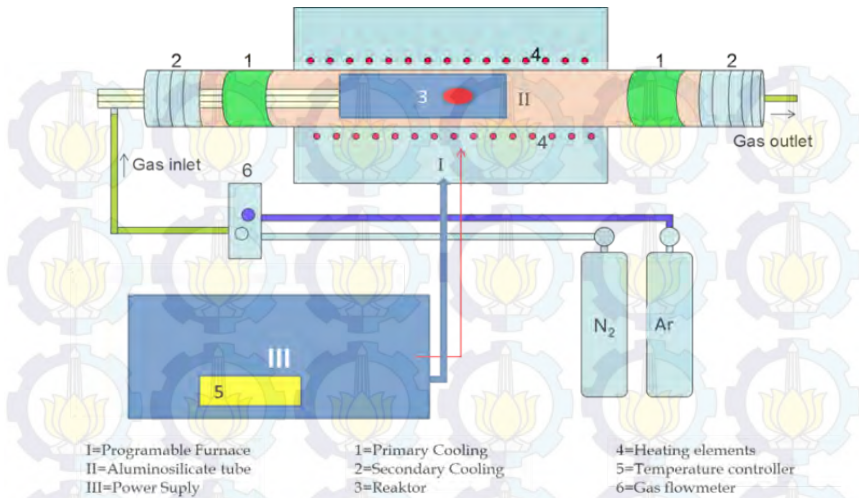
Pertama-tama serbuk titanium dan yodium yang telah ditimbang sebelumnya, dihaluskan menggunakan mortar hingga tercampur merata. Selanjutnya campuran ini ditempatkan dalam *crucible* dan ditutup menggunakan alumunium foil. Kemudian, sampel grafit dan tabung reaktor dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama kurang lebih 15 m enit. Grafit dan tabung besi dikeluarkan dan dikeringkan dalam lemari pengering selama 5 menit. Setelah semuanya siap, alat dan bahan dimasukkan ke dalam *gloves box* dan selanjutnya *gloves box* ditutup rapat dengan lem.

Berikutnya, selang kran dihubungkan dengan tabung gas dan sisi yang lain disambungkan pada pompa vakum. *Gloves box* divakumkan kemudian kran pada pompa vakum ditutup.

Selanjutnya gas dialirkan ke dalam *gloves box*, pada proses ini dipastikan *gloves box* tidak mengalami kebocoran. Kemudian *gloves box* divakumkan kembali dengan menutup kran pada tabung gas. Sama akan halnya pada proses sebelumnya, selanjutnya gas dialirkan kembali ke dalam *gloves box*. Proses ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk meminimalisir adanya oksigen dalam *gloves box* dan untuk menciptakan sistem atmosfer gas yang digunakan.

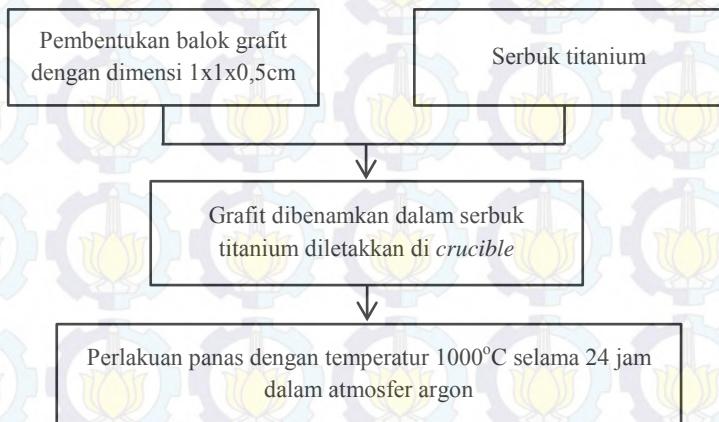
Selanjutnya, tahap persiapan di dalam *gloves box*, campuran serbuk titanium dan yodium sedikit demi sedikit dimasukkan ke dalam reaktor, kira-kira sebanyak $\frac{1}{3}$ dari tinggi reaktor terlebih dahulu. Kemudian sampel grafit dimasukkan dan dilanjutkan dengan sisa campuran serbuk titanium dan yodium. Pada proses ini, dipastikan permukaan sampel grafit 'tertimbun' seluruhnya oleh campuran serbuk titanium dan yodium. Selanjutnya, reaktor disegel (sealed) dengan ZO-paint pada penutupnya, dengan tujuan menghindari adanya kontak dengan oksigen. Selama tahap persiapan dalam *gloves box* ini atmosfer gas tetap mengalir.

Setelah persiapan dalam *gloves box*, selanjutnya dilakukan tahap perlakuan panas. Perlakuan panas dilakukan dengan temperatur 1000°C dalam atmosfer gas yang sama dengan atmosfer gas dalam *gloves box*. Agar lebih yakin bahwa *tube-furnace* telah bebas oksigen, sebelum dimulai proses perlakuan panas, gas terlebih dahulu dialirkan dalam *tube-furnace* selama 15 menit. Gambar berikut merupakan diagram tahap perlakuan panas. Sampel diletakkan pada titik 3 dalam *tube-furnace*.

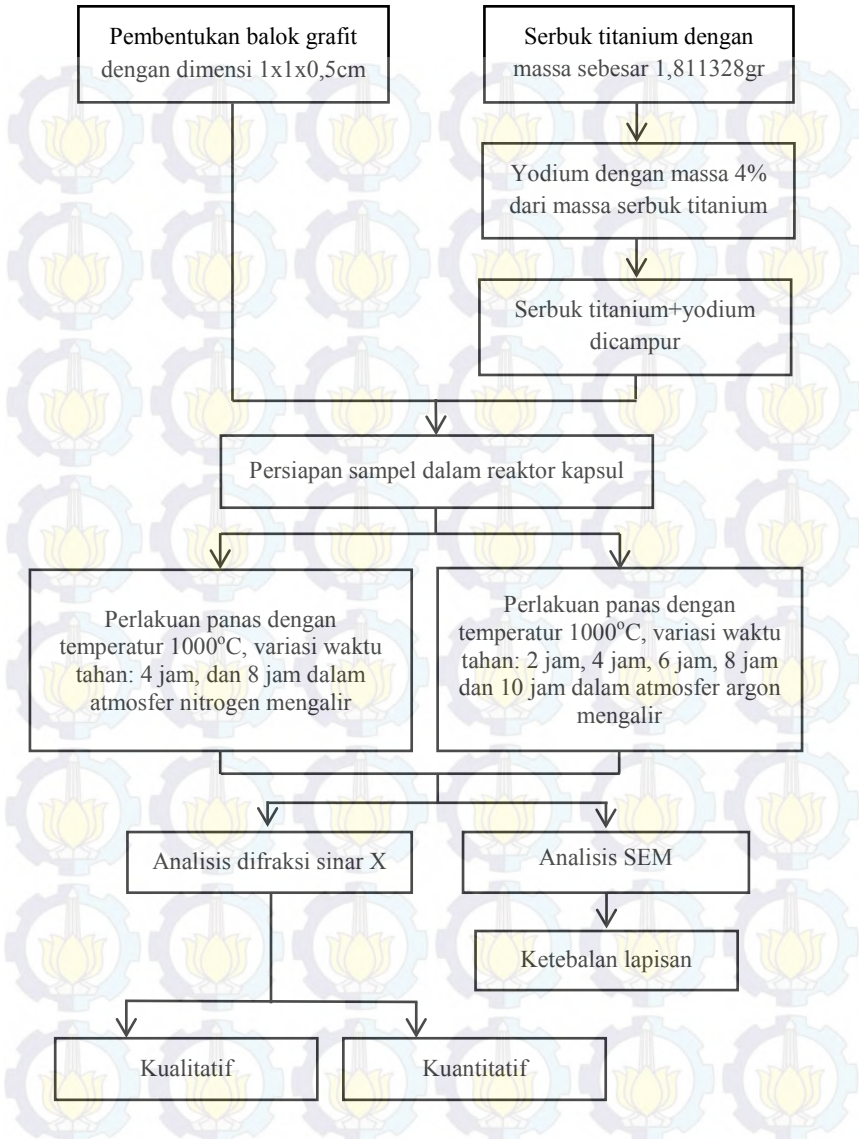


Gambar 3.4 Diagram Perlakuan Panas.

Tahapan eksperimental ini secara singkat dijelaskan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3.5 Diagram Alir Tahapan Eksperimental Awal.



Gambar 3.6 Diagram Alir Tahapan Eksperimental Lanjutan.

3.3 Metode Karakterisasi

Metode karakterisasi hasil pelapisan yang dilakukan sebagai berikut.

- Difraksi Sinar-X

Karakterisasi hasil pelapisan dilakukan menggunakan perangkat Bragg-Brentano PanAnalytical X'pert X-Ray dengan radiasi yang digunakan $\text{CuK}\alpha$. Alat ini bekerja menggunakan prinsip difraksi yang memiliki panjang gelombang lebih besar atau sama dengan ukuran kisi atau celah. Hasil difraksi tersebut akan menghasilkan pola tertentu sesuai dengan hukum yang dikeluarkan oleh Lawrence dan Henry Bragg pada tahun 1915.

Pola difraksi tersebut jika dihubungkan dengan detektor yang memiliki amplifier maka akan menghasilkan kurva hubungan antara intensitas dengan sudut 2θ . Kurva tersebut akan menghasilkan puncak jika material yang terkena sinar X memiliki keteraturan sangat tinggi (kristal). Setiap material itu unik maka akan diperoleh pola difraksi yang berbeda antara material yang satu dengan material yang lainnya.

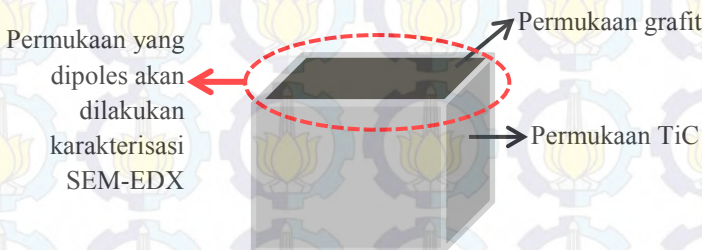
Sudut 2θ yang akan diamati dalam karakterisasi ini dalam rentang $25-75^\circ$. Hal ini dikarenakan berdasarkan literatur puncak difraksi titanium karbida maupun grafit berada pada rentang sudut 2θ sebesar $25-75^\circ$. Selanjutnya, berdasarkan pola difraksi ini akan dilakukan analisis agar diperoleh informasi mengenai fasa apa saja yang ada dalam material yang diukur. Proses identifikasi fasa ini didasarkan pada pencocokan data posisi terukur dengan basis data. Identifikasi ini dilakukan dengan menggunakan *software X'Pert Graphics & Identify*.

Selanjutnya juga dapat dilakukan analisis kuantitatif untuk mengetahui parameter kisi dan volume sel dengan metode pencocokan Rietveld, yaitu mencocokkan pola difraksi hasil eksperimen (data terukur) dengan model struktur yang ada didalam database. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan *software Rietica*.

- *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

Karakterisasi ini dilakukan apabila dari hasil analisis pola difraksi didapatkan lapisan yang diharapkan. SEM merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambar profil permukaan benda. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan berkas elektron berenergi tinggi pada permukaan benda. Permukaan benda yang dikenai berkas akan memantulkan kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Pantulan elektron-elektron sekunder, elektron-elektron terhambur dan radiasi sinar-X karakteristik akan memberikan informasi tentang keadaan sampel seperti bentuk permukaan (topografi) dan komposisi kimia yang terkandung dalam material (jika dihubungkan dengan alat EDX). Tetapi akan ada satu arah dimana berkas dipantulkan dengan intensitas tinggi. Detektor di dalam SEM mendeteksi dan menentukan lokasi berkas yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Arah tersebut memberi informasi profil permukaan benda seperti seberapa landai dan ke mana arah kemiringan. Berdasarkan proses tersebut akan diperoleh informasi ketebalan lapisan titanium karbida pada permukaan substrat grafit.

Sebelum dilakukan karakterisasi SEM, sampel terlebih dahulu dipoles seperti ditunjukkan pada bagian Gambar 3.7. Bagian yang telah dipoles ini yang selanjutnya diamati dengan SEM-EDX.



Gambar 3.7 Permukaan yang akan Dikarakterisasi SEM.

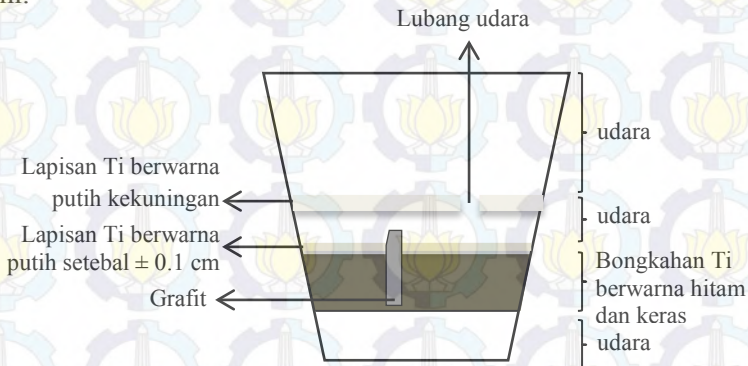
BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil Metode PIRAC tanpa Penambahan Yodium

Metode PIRAC (*Powder Immersion Reaction Assisted Coating*) merupakan salah satu metode mereaksikan suatu material dengan cara membenamkan substrat, dalam eksperimen ini digunakan substrat grafit ke dalam serbuk titanium. Tujuan dari metode ini agar dapat terbentuk lapisan titanium karbida pada permukaan substrat grafit. Pada eksperimen ini, substrat grafit dibenamkan dalam serbuk titanium yang ditempatkan dalam *crucible* tanpa adanya perlakuan khusus seperti penambahan yodium ataupun atmosfer gas yang digunakan selama persiapan sampel. Sesuai dengan metodologi, kemudian sampel yang telah disiapkan tersebut diberi perlakuan panas dalam *tube-furnace* dengan temperatur 1000°C, waktu tahan 24 jam dalam atmosfer argon mengalir.

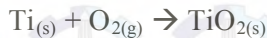
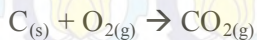
Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh susunan sampel dalam *crucible* ditunjukkan dalam sketsa berikut ini.



Gambar 4.1 Sketsa Susunan Sampel dalam *Crucible* Setelah Perlakuan Panas.

Terlihat dari sketsa Gambar 4.1 bahwa lapisan teratas, terdapat titanium berwarna kekuningan keras setebal $\pm 0,3$ cm, namun setelah dipisahkan dari lapisan yang lain kemudian dihaluskan menjadi serbuk, lapisan titanium ini berubah warna menjadi putih abu-abu. Pada lapisan pertama ini terdapat celah yang setelah dicongkel, didapat lapisan udara dibawahnya. Lapisan berikutnya berupa titanium putih setebal $\pm 0,1$ cm. Lapisan ini lebih keras dibandingkan dengan lapisan pertama. Selanjutnya, di bawah lapisan ini terdapat lapisan titanium keras berwarna hitam dan lapisan terakhir adalah udara. Grafit berada pada posisi seperti ditunjukkan dalam sketsa dengan keadaan grafit tidak lagi berbentuk balok akan tetapi terdapat salah satu bagian yang terkikis. Berdasarkan keadaan fisik ini, terlihat tidak ada lapisan yang terbentuk pada permukaan grafit dan diduga grafit mengalami oksidasi membentuk CO_2 .

Menurut Becker *et al* 2010, grafit akan mudah teroksidasi pada temperatur tinggi $>400^\circ\text{C}$ dalam lingkungan yang mengandung oksigen maupun klor. Sehingga grafit akan lebih cepat bereaksi dengan oksigen membentuk karbon dioksida (CO_2) dan tidak terjadi reaksi dengan titanium. Selain itu, terbentuknya lapisan titanium yang berwarna putih abu-abu pada lapisan pertama dan berwarna putih pada lapisan kedua, diduga titanium juga mengalami oksidasi. Reaksi oksidasi yang mungkin terjadi adalah



Terjadinya oksidasi ini diperkirakan karena grafit yang dipendam dalam serbuk titanium telah tercampur oksigen dikarenakan selama proses pencampuran grafit dan serbuk titanium dilakukan dalam udara bebas (lingkungan yang mengandung oksigen). Selain itu, karena tidak adanya kontrol secara kontinyu, diduga pada saat proses perlakuan panas berlangsung, gas argon sempat tidak mengalir sehingga

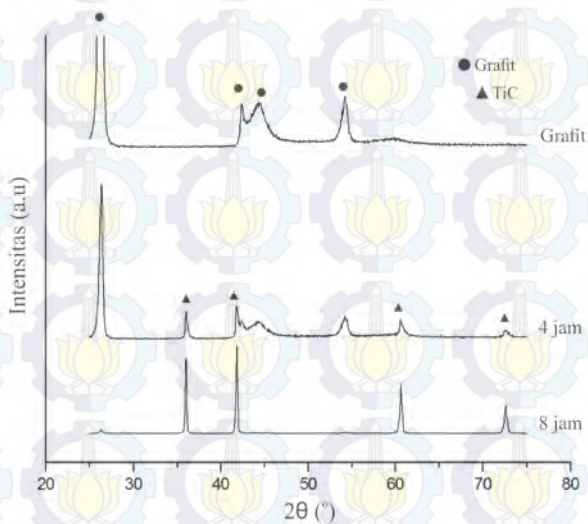
memungkinkan adanya oksigen yang masuk. Sedangkan, lapisan titanium paling bawah yang mengeras tidak mengalami oksidasi akan tetapi karena diduga pada temperatur 1000°C sudah masuk zona sintering.

4.2 Analisis Fase Lapisan Titanium Karbida

Berdasarkan hasil eksperimen awal, tidak diperoleh lapisan titanium karbida pada permukaan grafit. Oleh karena itu, pada eksperimen lanjutan ini meskipun masih menggunakan metode yang sama yaitu PIRAC akan tetapi terdapat beberapa perbedaan tahapan yang dilakukan. Dalam Yin *et al* 2005 disebutkan bahwa untuk mendapatkan lapisan titanium karbida pada permukaan grafit dengan metode PIRAC maka proses pelapisan dilakukan dengan: pertama, substrat grafit dibenamkan dalam campuran titanium-yodium dengan terlebih dahulu dilapisi Y_2O_3 sebagai penanda. Kedua, sampel diletakkan ke dalam reaktor berbahan *stainless steel high Crhome* yang tertutup. Ketiga, digunakan tekanan rendah tidak melebihi 10^{-5} Pa dan perlakuan panas dalam *furnace* dengan temperatur 800-1000°C dalam keadaan vakum.

Metode di atas memiliki aturan eksperimental yang cukup kompleks. Oleh karena itu, pada eksperimen ini digunakan atmosfer gas inert yaitu nitrogen atau argon selama persiapan sampel dalam reaktor maupun perlakuan panas dalam *tube-furnace*. Tekanan gas yang digunakan tidak ditentukan besarnya akan tetapi diperkirakan bahwa adanya oksigen telah diminimalisir, dengan cara memvakumkan *gloves box* dan mengalirkan gas selama minimal 3 kali ke dalam *gloves box*. Dan juga ketika sampel dimasukkan dalam *tube-furnace*, terlebih dahulu gas dialirkan selama kurang lebih 15 menit sebelum dimulai proses perlakuan panas. Tujuannya agar lingkungan dalam *tube-furnace* telah bebas oksigen. Kemudian perlakuan panas dilakukan pada temperatur 1000°C dengan 2 variasi waktu tahan selama 4 jam dan 8 jam dalam atmosfer nitrogen dan 5 variasi waktu tahan selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam dalam atmosfer argon.

Berdasarkan hasil eksperimen, secara fisis terlihat bahwa sampel grafit yang didapat berbeda dengan keadaan sampel grafit pada eksperimen awal. Balok grafit yang didapat masih dalam keadaan utuh dan permukaannya berwarna abu-abu. Selanjutnya akan dilakukan karakterisasi difraksi sinar X pada sampel ini untuk mengetahui adanya lapisan TiC pada permukaan sampel. Kemudian berdasarkan hasil XRD tersebut dilakukan analisis dengan menggunakan *software X'Pert Graphics & Identify* dan diperoleh hasil *search matched* sehingga dapat diketahui fasa apa saja yang terbentuk pada masing-masing sampel. Gambar 4.3 merupakan hasil identifikasi sampel yang diproses menggunakan atmosfer nitrogen dengan perbandingan pola difraksi sinar X dari grafit.

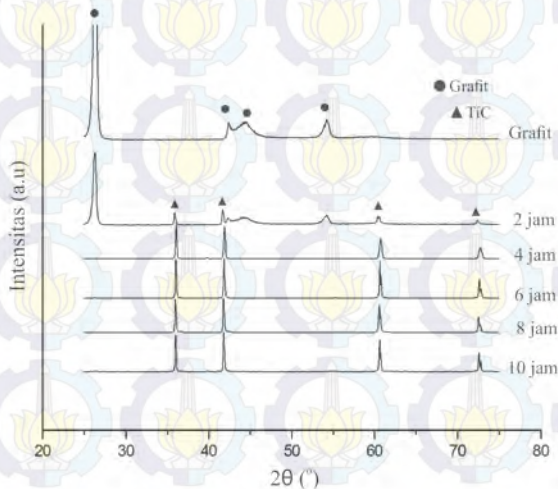


Gambar 4.2 Pola Difraksi Sinar X dan Hasil Identifikasi Fase untuk Grafit dan Sampel dalam Atmosfer Nitrogen.

Berdasarkan Gambar 4.2 di atas, terlihat bahwa untuk waktu tahan selama 4 jam teridentifikasi adanya fase grafit dan titanium karbida. Diduga lapisan TiC sudah terbentuk, akan tetapi

lapisannya masih sangat tipis sehingga hamburan sinar X oleh elektron masih dapat menyentuh substrat grafit. Pola difraksi sinar X dari grafit ini teramati pada kira-kira sudut $2\theta \approx 26^\circ$, 41° , 42° dan 44° . Sedangkan untuk sampel dengan waktu tahan selama 8 jam, juga masih teridentifikasi adanya fase grafit dan titanium karbida. Pola XRD dari grafit pada sampel ini teramati hanya pada posisi sudut $2\theta \approx 26^\circ$ dengan intensitas tidak sebesar intensitas difraksi sinar X milik grafit pada sampel dengan waktu tahan selama 4 jam. Hal ini menunjukkan bahwa dari 2 sampel ini lapisan TiC yang terbentuk masih sangat tipis, dibuktikan dengan masih teramati pola difraksi sinar X dari grafit.

Selanjutnya, untuk hasil identifikasi pola XRD dari sampel yang diproses dengan menggunakan atmosfer argon dan variasi waktu tahan selama 2 jam, 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut.



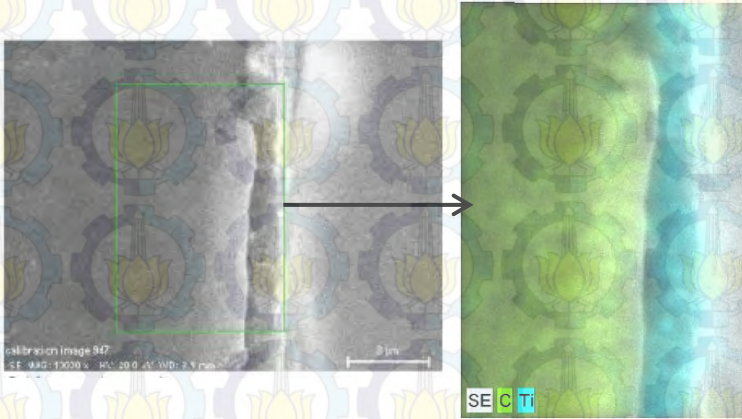
Gambar 4.3 Pola Difraksi Sinar X dan Hasil Identifikasi Fase untuk Grafit dan Sampel dalam Atmosfer Argon.

Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa untuk waktu tahan selama 2 jam teridentifikasi adanya 2 macam fase, yaitu grafit dan TiC. Lapisan TiC yang terbentuk diduga masih sangat tipis. Hal ini dikarenakan hamburan sinar X oleh elektron masih dapat menyentuh substrat grafit sehingga masih teramati adanya pola difraksi sinar X dari grafit dengan posisi sudut $2\theta \approx 26^\circ$. Selanjutnya untuk sampel dengan waktu tahan selama 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam, terlihat bahwa puncak difraksi sinar X dari grafit pada posisi sudut 2θ sekitar 26° sudah tidak teramati. Pola difraksi sinar X yang teridentifikasi pada 4 sampel ini memiliki kecocokan dengan pola difraksi sinar X untuk TiC. Sehingga dapat dikatakan untuk 4 variasi waktu tahan dengan atmosfer argon, lapisan TiC sudah terbentuk di atas permukaan substrat grafit.

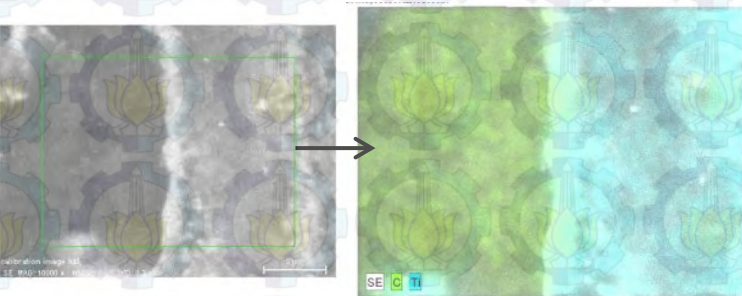
Berdasarkan hasil identifikasi fase di atas, dapat dikatakan bahwa hasil yang diperoleh dari sampel dalam atmosfer nitrogen dengan waktu tahan selama 4 jam dan 8 jam menunjukkan hasil yang relatif sama dengan sampel dalam atmosfer argon dengan waktu tahan selama 2 jam. Masing-masing sampel tersebut teridentifikasi adanya 2 fase yaitu grafit dan TiC, dengan dugaan lapisan TiC yang terbentuk masih sangat tipis. Sedangkan sampel dalam atmosfer argon dengan waktu tahan selama 4 jam, 6 jam, 8 jam dan 10 jam tidak teridentifikasi adanya pola XRD grafit dan menunjukkan terbentuknya lapisan TiC.

Terbentuknya lapisan TiC ini juga dapat diketahui dari hasil SEM-EDX yang menunjukkan adanya *mapping* elemen dari sampel. Terlihat pada Gambar 4.4 hasil EDX sampel dalam atmosfer nitrogen dan Gambar 4.5 sampel dalam atmosfer argon dengan waktu tahan selama 4 jam. Berdasarkan gambar tersebut, lapisan yang mengandung titanium ditunjukkan berwarna biru sedangkan substrat grafit ditunjukkan berwarna hijau. Dari kedua gambar tersebut, dalam waktu tahan yang sama yaitu 4 jam diperoleh ketebalan lapisan TiC yang berbeda untuk atmosfer yang berbeda. Sampel yang diproses dalam atmosfer nitrogen,

diperoleh ketebalan lapisan TiC lebih tipis dibandingkan sampel yang diproses dalam atmosfer argon.

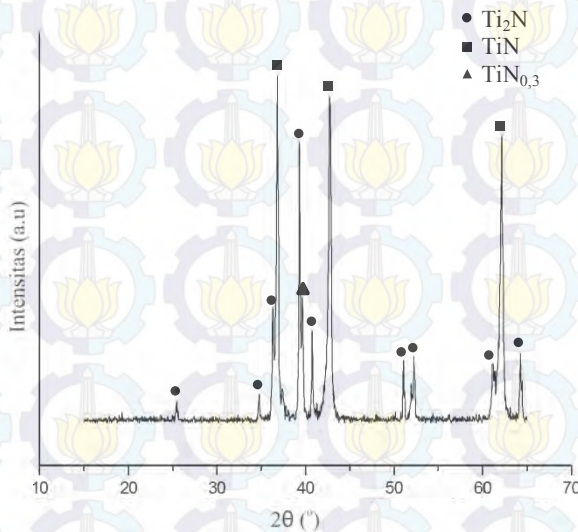


Gambar 4.4 Hasil SEM-EDX Sampel dengan Waktu Tahan Selama 4 Jam dalam Atmosfer Nitrogen.



Gambar 4.5 Hasil SEM-EDX Sampel dengan Waktu Tahan Selama 4 Jam dalam Atmosfer Argon.

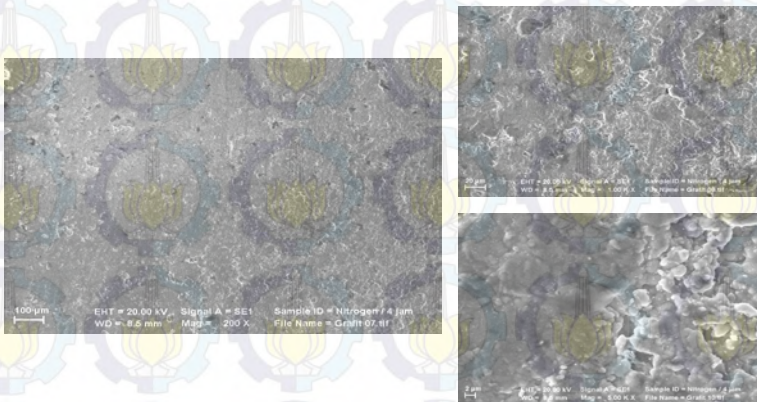
Berdasarkan hasil analisis tersebut, sampel yang diproses dalam atmosfer nitrogen diduga serbuk titanium-yodium juga bereaksi dengan gas nitrogen membentuk titanium nitrida. Secara fisis serbuk titanium hasil eksperimen ini berwarna hitam. Selanjutnya, dilakukan identifikasi pola XRD untuk mengetahui fase yang terbentuk dalam serbuk titanium dan didapatkan hasil identifikasi fase ditunjukkan pada Gambar 4.6.



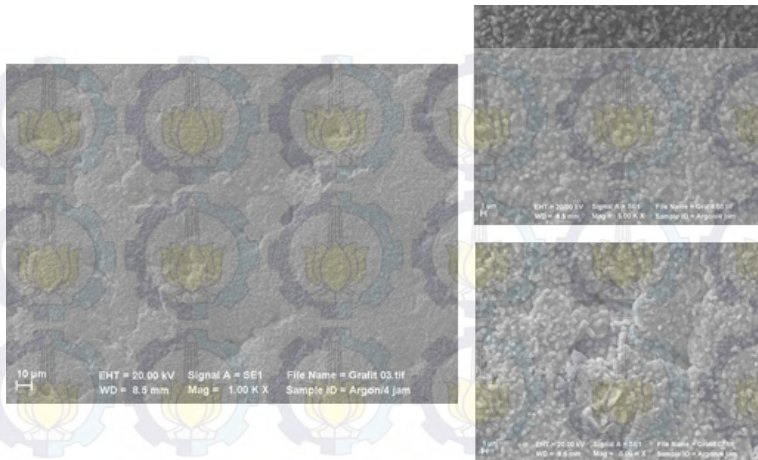
Gambar 4.6 Hasil Identifikasi Serbuk Titanium dengan Waktu Tahan 4 Jam dalam Atmosfer Nitrogen.

Reaksi ini diduga mempengaruhi proses pembentukan lapisan TiC karena campuran titanium-yodium tidak hanya bereaksi dengan karbon akan tetapi juga nitrogen. Sehingga untuk waktu tahan selama 8 jam, lapisan TiC yang terbentuk masih tipis. Berbeda dengan penggunaan atmosfer argon, meskipun atmosfer argon masuk ke dalam reaktor akan tetapi gas argon tidak ikut bereaksi dengan campuran serbuk titanium-yodium. Oleh karena itu, hasil lapisan titanium karbida yang optimal akan didapatkan apabila digunakan atmosfer argon.

Selanjutnya dilakukan karakterisasi SEM untuk mengamati morfologi permukaan pada sampel yang diproses dengan atmosfer nitrogen dan argon selama 4 jam. Hasil yang berbeda terlihat antara permukaan sampel yang diproses dalam atmosfer nitrogen (Gambar 4.7) dan sampel yang diproses dalam atmosfer argon (Gambar 4.8). Berdasarkan kedua gambar tersebut, terlihat bahwa dalam atmosfer nitrogen, permukaan sampel yang dihasilkan kasar dan tidak rata. Hal ini diduga karena dalam atmosfer nitrogen, reaksi difusi antara titanium dan karbon juga dipengaruhi oleh reaksi difusi titanium dengan gas nitrogen. Sedangkan untuk atmosfer argon, didapatkan permukaan sampel yang rata dan memiliki butir yang homogen.



Gambar 4.7 Hasil SEM Permukaan Sampel yang Diproses dalam Atmosfer Argon Selama 4 Jam.



Gambar 4.8 Hasil SEM Permukaan Sampel yang Diproses dalam Atmosfer Argon Selama 4 Jam.

Berdasarkan hasil XRD, selanjutnya dapat dilakukan analisis dengan metode *refinement* (pencocokan) Rietveld sehingga dapat diketahui bahwa lapisan TiC yang terbentuk memiliki struktur kubik dengan parameter kisi sebagai berikut.

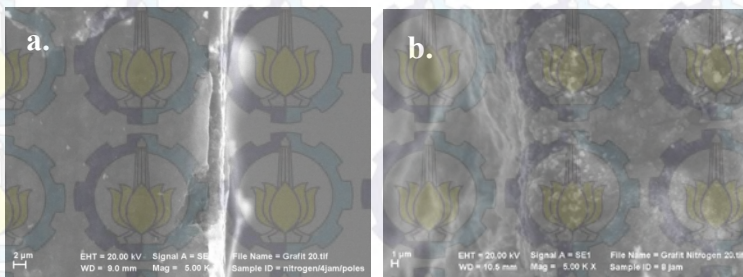
Tabel 4.1 Parameter Kisi TiC Setelah Perlakuan Panas dalam Atmosfer Nitrogen dan Argon.

Waktu tahan (jam)	Parameter kisi (Å) (Nitrogen)	Parameter kisi (Å) (Argon)
2 jam	-	$4,3208 \pm 0,0014$
4 jam	$4,3162 \pm 0,0005$	$4,3187 \pm 0,0004$
6 jam	-	$4,3030 \pm 0,0005$
8 jam	$4,3176 \pm 0,0005$	$4,3270 \pm 0,0003$
10 jam	-	$4,3155 \pm 0,0001$

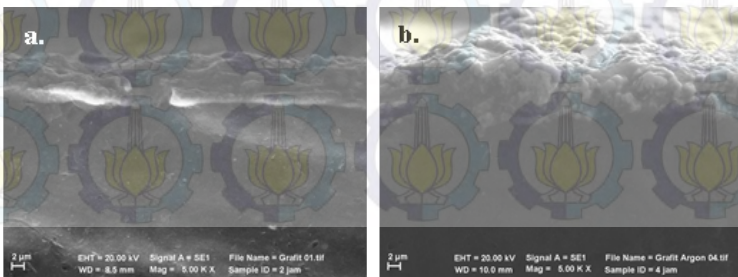
Berdasarkan hasil pencocokkan tersebut diperoleh besar parameter kisi yang tidak sistematis untuk variasi waktu tahanan maupun atmosfer yang digunakan.

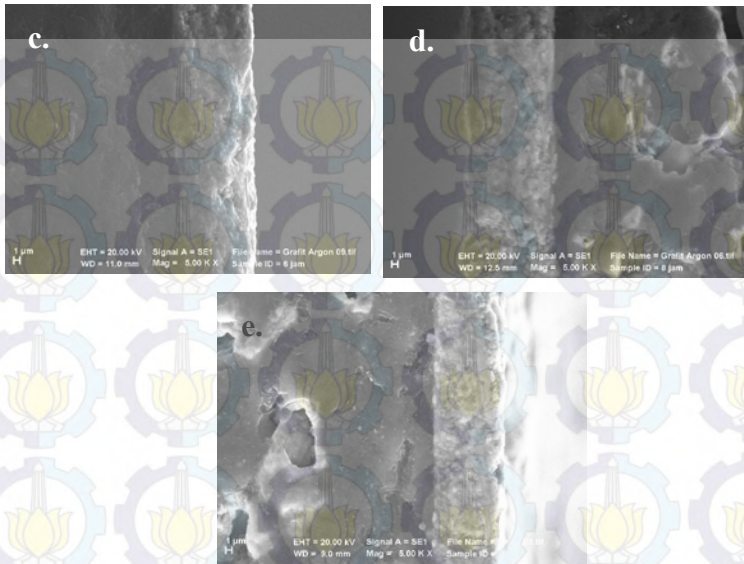
4.3 Analisis Ketebalan Lapisan Titanium Karbida

Ukuran ketebalan lapisan TiC yang terbentuk pada masing-masing sampel ditunjukkan dari hasil karakterisasi SEM. Berdasarkan pengamatan hasil SEM, adanya lapisan TiC pada permukaan grafit dapat diamati berdasarkan perbedaan kontras yang ditunjukkan. Lapisan TiC ditunjukkan dengan kontras yang lebih cerah dibandingkan substrat grafit yang memiliki kontras lebih gelap. Berikut merupakan hasil pengamatan SEM untuk sampel yang diproses dalam atmosfer nitrogen.



Gambar 4.9 Hasil Karakterisasi SEM untuk sampel yang Diproses dalam Atmofer Nitrogen dengan Waktu Tahan Selama: (a) 4 Jam; (b) 8 Jam.



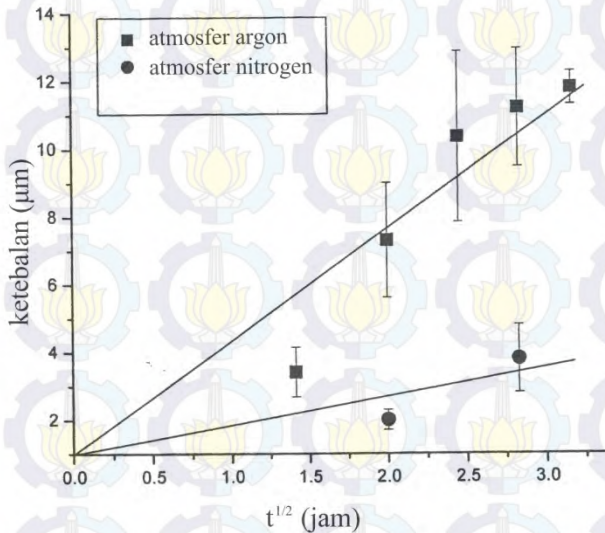


Gambar 4.10 Hasil Karakterisasi SEM untuk sampel yang Diproses dalam Atmofer Argon dengan Waktu Tahan Selama: (a) 2 Jam; (b) 4 Jam; (c) 6 Jam; (d) 8 Jam dan 10 Jam.

Terlihat dari gambar 4.9, sampel yang diproses dalam atmosfer nitrogen selama 4 jam dan 8 jam, lapisan TiC yang terbentuk pada permukaan grafit masih tipis. Hal ini sesuai dengan hasil identifikasi pola XRD yang menunjukkan adanya fase grafit dan TiC pada sampel. Sedangkan pada gambar 4.10, sampel yang diproses dalam atmosfer argon untuk waktu tahan selama 2 jam terbentuk lapisan TiC yang masih tipis dibandingkan dengan variasi waktu tahan lain yang relatif lebih tebal.

Berdasarkan ketebalan lapisan TiC pada masing-masing sampel, selanjutnya dapat diperoleh hubungan antara ketebalan

lapisan titanium karbida yang dihasilkan dengan waktu tahan dalam grafik berikut.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Waktu Tahan terhadap Ketebalan Lapisan Titanium Karbida.

Dari grafik tersebut diperoleh hubungan linear antara akar waktu tahan dengan ketebalan lapisan TiC yang dihasilkan. Secara matematis, hubungan ini dapat dituliskan:

$$x = (kt)^{1/2} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dengan k merupakan konstanta laju difusi.

Terlihat dari grafik tersebut semakin lama waktu tahan maka ketebalan akan meningkat. Akan tetapi semakin lama waktu, ketebalan lapisan yang terbentuk mengalami perlambatan. Seperti disebutkan dalam persamaan 2.1, laju difusi berbanding terbalik

dengan jarak untuk difusi. Sehingga semakin lebar jarak untuk difusi maka ketebalan lapisan yang dihasilkan semakin sedikit.

Ketebalan lapisan TiC yang dihasilkan pada permukaan grafit terjadi karena adanya proses difusional. Menurut Yin *et al* 2005 pembentukan lapisan titanium karbida ini dikarenakan transport reaksi yang terjadi, atom titanium mencapai permukaan lapisan dengan bentuk gas titanium tetraiodida (TiI_4) karena adanya yodium. Pertumbuhan lapisan titanium karbida terjadi dalam beberapa tahap yaitu: pertama, adanya gas titanium tetraiodida ke dalam permukaan lapisan sebagai hasil reaksi serbuk titanium dengan agen transport yaitu yodium; kedua karbon berdifusi keluar melalui lapisan; ketiga, reaksi titanium dengan karbon membentuk titanium karbida. Sehingga ketebalan lapisan TiC yang diperoleh akan memenuhi persamaan 2.11. Berdasarkan grafik tersebut selanjutnya dapat dihitung k (konstanta laju difusi karbon) dalam atmosfer argon dan nitrogen sama dengan besar kemiringan grafik ($\tan \delta$).

BAB V

KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

- Proses difusi dengan metode PIRAC tanpa adanya penambahan yodium dalam serbuk titanium maka tidak dapat menghasilkan lapisan titanium karbida pada permukaan substrat grafit.
- Proses difusi metode PIRAC yang dilakukan dengan penambahan yodium dalam serbuk titanium dalam atmosfer nitrogen diperoleh lapisan titanium karbida, namun masih tipis.
- Proses difusi metode PIRAC yang dilakukan dengan penambahan yodium dalam serbuk titanium dalam atmosfer argon, diperoleh pembentukan lapisan titanium karbida yang optimal untuk waktu tahan lebih dari sama dengan 4 jam.

LAMPIRAN A

DATA COD (CRYSTALLOGRAPHY OPEN DATABASE) SAMPEL

• Data COD Titanium #9008747

```
data_9008747
loop_
  _publ_author_name
  'Wyckoff, R. W. G.'
  _publ_section_title
  ;
  Second edition. Interscience Publishers, New
  York, New York
  rocksalt structure
  ;
  _journal_name_full
  Structures'
  _journal_page_first
  85
  _journal_page_last
  237
  _journal_volume
  1
  _journal_year
  1963
  _chemical_formula_sum
  'C Ti'
  _chemical_name_mineral
  TiC
  _space_group_IT_number
  225
  _symmetry_space_group_name_Hall
  '-F 4 2 3'
  _symmetry_space_group_name_H-M
  'F m -3 m'
  _cell_angle_alpha
  90
  _cell_angle_beta
  90
  _cell_angle_gamma
  90
  _cell_length_a
  4.3186
  _cell_length_b
  4.3186
  _cell_length_c
  4.3186
  _cell_volume
  80.543
  _exptl_crystal_density_diffrn
  4.939
  _[local]_cod_cif_authors_sg_H-M
  'F m 3 m'
  _[local]_cod_chemical_formula_sum_orig
  'Ti C'
  _cod_database_code
  9008747
  _amcsd_database_code
  AMCS D#0011078

Ti 0.00000 0.00000 0.00000
C 0.50000 0.50000 0.50000
```

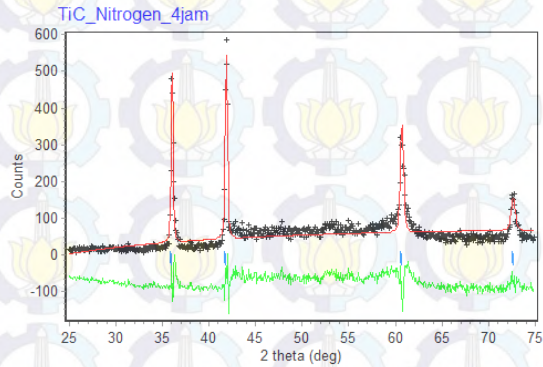
- Data COD Karbon #9000046

```

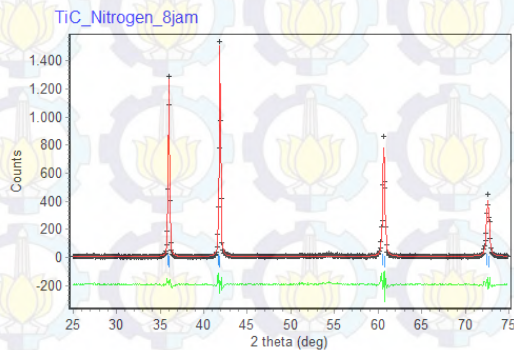
data_9000046
loop_
  _publ_author_name
    'Kukesh, J. S.'
  'Pauling, L.'
  _publ_section_title
  ;
    'The problem of the graphite structure'
  ;
  _journal_name_full
    'American
    Mineralogist'
  _journal_page_first
    125
  _journal_page_last
    125
  _journal_volume
    35
  _journal_year
    1950
  _chemical_formula_sum
    C
  _chemical_name_mineral
    Graphite
  _space_group_IT_number
    69
  _symmetry_space_group_name_Hall
    '-F 2 2'
  _symmetry_space_group_name_H-M
    'F m m m'
  _cell_angle_alpha
    90
  _cell_angle_beta
    90
  _cell_angle_gamma
    90
  _cell_length_a
    2.456
  _cell_length_b
    4.254
  _cell_length_c
    6.696
  _cell_volume
    69.959
  _exptl_crystal_density_diffn
    2.281
  _cod_database_code
    9000046
  _amcsd_database_code
    AMCSD#0000048
  C 0.00000 0.16667 0.00000

```

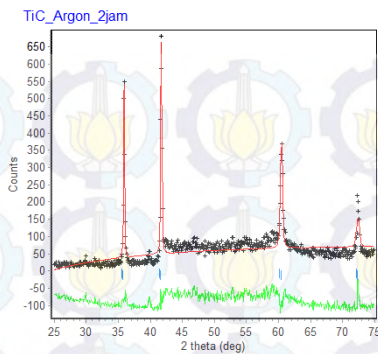
LAMPIRAN B
HASIL PENCOCOKAN POLA DIFRAKSI SINAR X
DENGAN *SOFTWARE RIETICA*



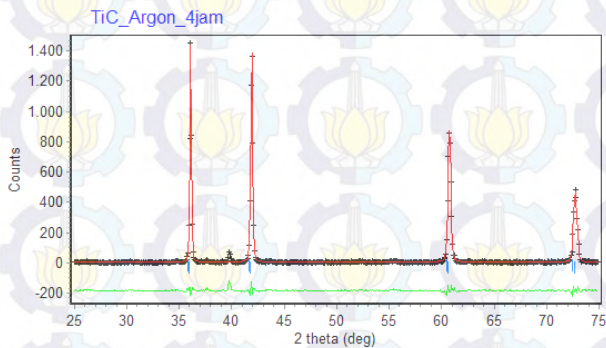
Gambar 1. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Nitrogen Selama 2 Jam.



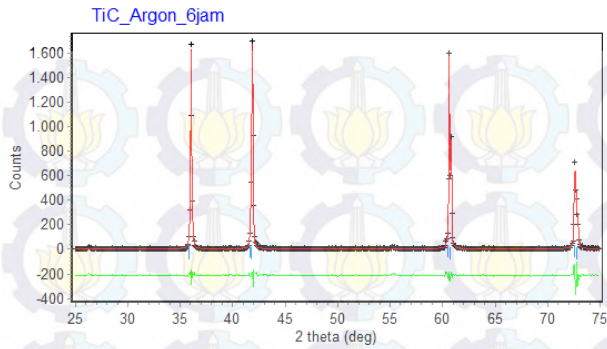
Gambar 2. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Nitrogen Selama 8 Jam.



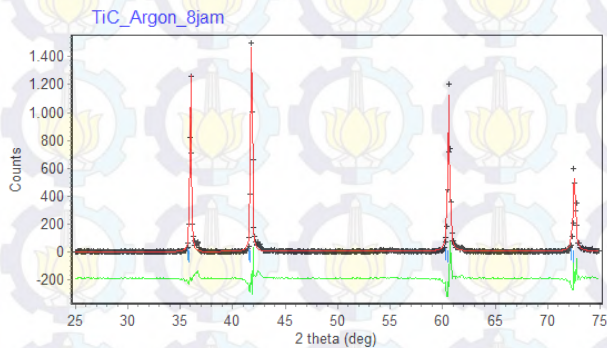
Gambar 3. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Argon Selama 2 Jam.



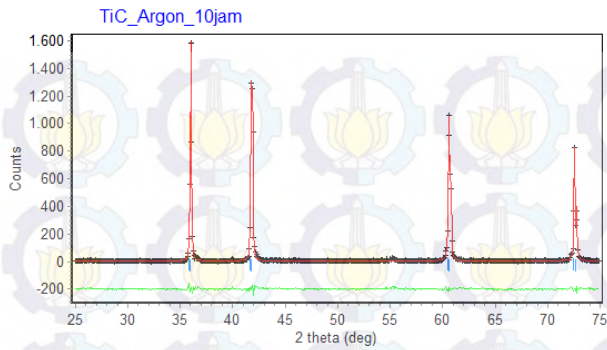
Gambar 4. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Argon Selama 4 Jam.



Gambar 5. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Argon Selama 6 Jam.



Gambar 6. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Argon Selama 8 Jam.



Gambar 7. Grafik Pencocokan Sampel Grafit dalam Atmosfer Argon Selama 10 Jam.

DAFTAR PUSTAKA

Aliprandi, G. 1979. **Matériaux Refractaire et Céramiques techniques**, Ed. Septima p.298

Becker. P, F.Glenk, M. Kormann, N. Popovska, B.J.M. Etzold, **Chlorination of titanium carbide for the processing of nanoporous carbon: Akinetic study**, Chem. Eng. Journal 159 (2010) 236–241

Callister, William D. 2001. **Fundamentals of Materials Science and Engineering 5th edition**. New York: John Wiley & Sons.

Christianto, Puguh & Purwaningsih, Hariyati. 2013. **Analisa Rietveld terhadap Transformasi Fasa ($\alpha \rightarrow \beta$) pada Solid Solution Ti-3 at.% Al pada Proses Mechanical Alloying dengan Variasi Milling Time**. *JURNAL TEKNIK POMITS* Vol. 2, No. 1, (2013) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)

Chen *et al*, **Bonding Characteristics of TiC and TiN**, Modeling and Numerical Simulation of Material Science, 2013, 3, 7-11

Cullity, B. D. 1956. **Elements of X-Ray Diffraction**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Gutmanas et al. 1992. **Coating of Non Oxide Ceramics by Interaction with Metal Powders**. *Material Science and Engineering A* 157 (1992) 233-241

<http://www.crystalimpact.de/match/Default.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Refractory>

Nugroho, Sri & Umardhani, Yusuf. 2011. **Karakterisasi Material Refraktori Basa Berbahan Dasar Magnesia (Mgo) Guna Lining Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X Klaten.** *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*. Tahun 2011

Pierson, Hugh O. 1996. **Handbook of Refractory Carbides and Nitrides.** New Jersey: Noyes Publication.

Rijnders, Marco Raymond. 1996. **Periodic Layer Formation during Solid State Reactions.** Den Haag: Eindhoven University of Technology.

Sibilia, John P. 1996. **A Guide to Materials Characterization and Chemical Analysis 2nd Edition.** New York: Wiley-VCH.

Leng, Yang. 2008. **Materials Characterization Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods.** Singapore: John Wiley & Sons.

Yin *et al*, **Formation of Titanium Carbide on Graphite via Powder Immersion Reaction Assisted Coating.** *Material Science and Engineering A* 396 (2005) 107-114

BIOGRAFI PENULIS



Farah Aulia Rahmawati yang akrab disapa “Farah” merupakan penulis Tugas Akhir (TA) berjudul “Pelapisan Grafit dengan Titanium Karbida melalui Metode PIRAC; Karakterisasi XRD dan SEM”. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara yang lahir di Pasuruan 27 Juni 1992.

Semasa kecil penulis menem-puh pendidikan formal antara lain di TK Dharma Wanita Gondangwetan, SDN 1 Gondangwetan, SMPN 1 Gondangwetan dan SMAN 1 Pasuruan. Pada tahun 2010 penulis mendapatkan beasiswa BIDIK MISI untuk melanjutkan kuliah di Jurusan Fisika FMIPA ITS.

Selama kuliah penulis aktif dalam kegiatan di berbagai laboratorium antara lain asisten laboratorium fisika dasar, fisika modern dan gelombang serta asisten laboratorium fisika material. Selain kegiatan di laboratorium, penulis juga banyak menghabiskan waktu dalam kegiatan organisasi, diantaranya mahasiswa diantaranya HIMASIKA ITS, FOSIF ITS dan JMMI ITS. Pada tahun 2012 dan 2013, penulis dan kawan-kawan mendapatkan amanah untuk menjalankan Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dari DIKTI.

Setelah lulus dari studi bidang material di Jurusan Fisika FMIPA ITS ini, penulis berencana akan tetap melanjutkan studi di bidang yang sama dengan riset yang lebih menarik.

Farah Aulia R.
faycosmic26@rocketmail.com